

Funktionell botanisk diversitet – En väg till robusta odlingssystem

Projektansvarig: Velemir Ninkovic, Institutionen för ekologi,
SLU Uppsala

Projektgrupp: Robert Glinwood och Göran Bergkvist,
Institutionen för växtproduktionsekologi, SLU Uppsala



Fältförsök med råg-vete blandningar. (Foto: Iris Dahlin).

Slutrapport 2019 för ett projekt finansierat av SLU Ekoforsk

Innehåll

1. Sammanfattning.....	3
2. Abstract.....	4
3. Bakgrund.....	5
4. Material och metod.....	6
4.1 Laboratorieförsök.....	6
4.1.1 Identifikation av lämpliga råg-vete kombinationer.....	6
4.1.2 Analys av flyktiga ämnen avgivna av råg och vete.....	7
4.2 Fältförsök.....	8
4.2.1 Utveckling av bladluspopulationen.....	9
4.2.2 Kärnkvalitet av skörden.....	9
5. Resultat.....	9
5.1 Laboratorieförsök.....	9
5.1.1 Identifikation av lämpliga råg-vete kombinationer.....	9
5.1.2 Analys av flyktiga ämnen avgivna av råg och vete.....	10
5.2 Fältförsök.....	11
5.2.1 Utvecklingen av bladluspopulationen.....	11
5.2.2 Kärnkvalitet av skörden.....	13
6. Diskussion.....	14
7. Slutsatser.....	15
8. Tillkännagivanden.....	15
9. Referenser.....	15

1. Sammanfattning

Tidigare forskning har visat att en ökad botanisk mångfald kan minska förekomsten av insektsskadegörare, och föreslagit en rad av mekanismer för att förklara dessa effekter, såsom fysiska eller kemiska barriärer. I detta projekt fokuserade vi på kemisk interaktion mellan närliggande växter, vilket kan leda till förändringar i växtfysiologin, som i sin tur kan påverka insekter som använder dessa växter som värd.

Det övergripande syftet med detta projekt var att utveckla en metod för växtskydd baserat på en ökning av den funktionella biologiska mångfalden av grödan. Vi blandade vete (*Triticum aestivum*) och råg (*Secale cereale*), med avsikten att minska mängden bladlöss i vetet. Två fältförsök med höst- respektive vårsådda sorter av de båda grödorna har genomförts. I dessa jämfördes förekomsten av bladlöss vid olika andel råg i blandningen.

Inblandningar av 5% och 15% vårråg i veteutsädet resulterade i en minskning av bladluspopulationen med 20% jämfört med vete odlad i rent bestånd. I höstsådd råg-vete blandningar kunde ingen effekt påvisas. Även om den allelopatiska potentialen hos råg har använts för att undertrycka ogräs i olika odlingssystem, visar våra studier att det finns möjlighet att ytterligare utforska den allelopatiska aktiviteten hos råg, dvs att råg kan användas för att öka motståndskraft mot skadegörare i stråsädesodlingar.

2. Abstract

Previous research has shown that increased botanical diversity can reduce insect pests in certain cropping systems, and proposed a variety of mechanisms to explain these effects, such as physical or chemical barriers. In this project, we focused on chemical interaction between adjacent plants, which can lead to changes in plant physiology. These changes can affect insects using these plants as hosts.

The overall aim of this project was to develop a plant protection approach based on specific increases in the functional biodiversity of the crop. We have mixed wheat (*Triticum aestivum*) and rye (*Secale cereale*), to reduce populations of aphids. Two field trials with winter and spring varieties, respectively, have been conducted in which different proportions of rye were mixed with wheat.

Mixtures of 5% and 15% spring rye with the wheat seed resulted in a reduction of the aphid population by 20% compared to wheat grown in pure stand. This effect could not be demonstrated for the autumn-seeded rye-wheat mixtures. Although the allelopathic potential of rye has been used to suppress weeds in various cropping systems, our studies show that there is the possibility of further exploring the allelopathic activity of rye, i.e., rye can be used to increase resistance to pests in cereal seedlings.

3. Bakgrund

Ökad botanisk diversitet i odlingsfält kan ge högre produktivitet, förbättrad skadedjurs- och sjukdomsbekämpning, förbättrade ekosystemtjänster och ökad lönsamhet (Ratnadass et al. 2012). Botanisk mångfald i sig garanterar inte minskad skadedjurspåverkan; insektens respons beror på typen av mångfald och effekter som förekommer i ett system finns inte nödvändigtvis i andra system (Barbosa et al. 2009). För att utforma robusta odlingssystem måste därför valet av sorter eller arter som ska blandas grundas på en grundlig förståelse av de bakomliggande mekanismerna.

Blandning av sorter inom samma art har visat sig minska insektskadegörare och sjukdomar i vissa odlingssystem (Ninkovic et al. 2002; Tooker & Frank 2012). Minskade skadedjurs- och sjukdomsangrepp förväntas resultera i större avkastning. Dock avkastar sortblandningar ofta mer än förväntat, ibland ännu mer än ett renbestånd av den mest givande komponenten i en sortblandning (Kiær et al. 2012). Sortblandning anses vara en lovande strategi för hållbar skadedjursbekämpning (Wivstad 2013) och intresset växer bland jordbrukare (Blomquist 2012). Men även om användningen av sortblandningar har många fördelar för bonden, har det varit svårt att förutsäga om en blandning av olika komponenter kommer att ge högre avkastning eller ej.

En rad mekanismer föreslås för att förklara effekterna av botanisk mångfald inom fältet på skadegörare, inklusive fysiska och kemiska barriärer och associationsmotståndskraft (Malézieux et al. 2009). En viktig mekanism har fått mindre uppmärksamhet; direkt kemisk interaktion mellan plantor som växer nära varandra leder till förändringar i växtfysiologin och denna förändring påverkar i sin tur insekter (Ninkovic & Åhman 2009). Växter som attackeras av insekter eller sjukdomar släpper ut kemiska signaler som gör att närliggande växter inducerar sina egna försvar (Kost & Heil 2006). Men växter utsätts kontinuerligt för kemikalier från grannar, även när de inte utsätts för attack. Dessa flyktiga kemiska ämnen kan signalera närvaron av konkurrenter, vilket gör att växterna kan reagera med lämpliga förändringar i tillväxt och biomassfördelning (Poorter et al. 2011; Ninkovic et al. 2016). Kornplantor som utsätts för flyktiga ämnen från en annan kornsort omfördelar biomassa från blad till rötter (Ninkovic 2003). Sådana förändringar i biomassallokering kan åtföljas av omfördelning av primära metaboliter mellan blad och rötter (Hermans et al. 2006). En kombination av olika grödor som släpper ut stora mängder kemikalier, såsom råg (De Albuquerque et al. 2011), kan ge liknande effekter. Bladlöss är den insektsgrupp som orsakar mest skador i svenskt jordbruk (Eckersten 2008). De kan snabbt utveckla resistens mot insekticider (Foster et al. 2007) och kan övervinna skyddet hos resistent växtsorter (Haley et al. 2004). Därför behöver bladlusbekämpning utvecklas som är miljömässigt acceptabelt och långsiktigt hållbart. En sådan kan inte åstadkommas enbart av insekticider eller växtförädling. Insekternas populationsdynamik är nära

kopplad till växtfysiologi och förändringar i växtbiomassa, vilket påverkar värdväxternas kvalitet för bladlöss (Pettersson et al. 2007).

Den övergripande hypotesen är att ökad botanisk mångfald i fält inducerar motstånd hos växten mot bladlöss. Våra tidigare resultat från laboratorie- och fältförsök visar att bladlöss prestanda reduceras på kornplantor som utsätts för flyktiga ämnen från vissa växtarter (Glinwood et al. 2004; Ninkovic et al. 2009; Dahlin & Ninkovic 2013) eller från en specifik kornsort (Ninkovic et al. 2002; Glinwood et al. 2009; Kellner et al. 2010). Därför är det viktigt att välja arter och sorter som kombineras baserat på undersökningar om interaktionerna mellan dem. Effekterna av en blandning av råg och vete på skadedjur har hittills inte undersökts. Det är av såväl tillämpat som teoretiskt värde att hitta ytterligare växtkombinationer som kan bidra till hållbar bladlus bekämpning.

Målet var att (i) identifiera lämplig inblandning av råg i råg-veteblandningar genom utvärdering av kemiska interaktioner mellan råg och vete och dess effekter på bladlusens växtacceptans, (ii) kvantifiera effekten av artblandningar genom fältförsök, och (iii) analys av de testade arternas emission av flyktiga ämnen.

Syftet var att undersöka om en inblandning av råg (*Secale cereale*) i vete (*Triticum aestivum*), minskar bladlusetableringen. Den övergripande hypotesen är att växt-mångfald i fält mobiliserar grödans inducerande resistens-egenskaper som minskar bladlössens etablering och populationsutveckling, samt främjar naturliga fiender, vilket innebär utnyttjande av biologisk bekämpning.

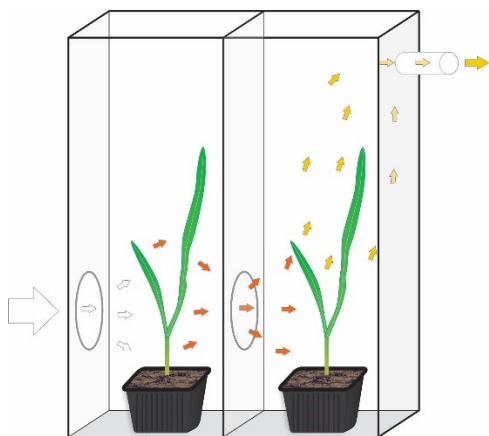
4. Material och metod

4.1 Laboratieförsök

4.1.1 Identifikation av lämpliga råg-vete kombinationer

Det specifika syftet med labbförsöket var att identifiera de mest effektiva sortkombinationerna och den rågandelen som krävs för att minska värdväxtacceptansen av bladlöss, till nytta för vidare laboratorie- och fältförsök

För att hitta lämpliga kombinationer testades tre höstrågsorter (Caspian, Amilio och Brasetto) och två höstvetes sorter (Stava och SW Magnifik) i sex kombinationer i växthuset. Fokuset har varit på den roll som de flyktiga kemiska signalämnena spelar i interaktionerna mellan växter. Höstvetesplanter exponerades för flyktiga ämnen från angränsande höstrågplanter under fem dagar i våra egendesignade exponeringskammare (Ninkovic et al. 2002) (Figur 1).



Figur 1. Exponeringssystem. (Bild, D. Markovic, SLU).

Förändringen i bladlusacceptans undersöktes på de exponerade veteplantorna och icke exponerade kontrollplanter med användning av non-choice test (Ninkovic et al. 2002). Tio bladlöss introducerades på testplantornas andra blad i ett transparent plaströr, förseglat med skumplugg. Efter två timmar räknades antalet bladlöss som accepterade plantan (sittande och sugande på bladen).

I ett andra experiment testades vilken andel råg som krävs för att minska värdväxtacceptansen av bladlöss. Olika proportioner av råg användes: 5% (en planta), 15% (två plantor) och 50% (fem plantor). Efter fem dagars exponering gjordes bladlusacceptans test som ovan beskrivit.

4.1.2 Analys av flyktiga ämnen avgivna av råg och vete

Flyktiga ämnen av vårvete Lennox och vårråg Petkus som odlades i fältförsök 2018 samlades in med en push-pull-teknik (Dahlin et al. 2018) för att undersöka eventuella skillnader mellan dem i sammansättningar av avgivna flyktiga ämnen. Växterna var inneslutna i ugnspåsar, i vilken luft pressades in genom kolfilter och drogs ut tillsammans med flyktiga ämnen som adsorberades på en porös polymer (Porapak) (Figur 2), från vilken de extraherades med hjälp av ett lösningsmedel.



Figur 2. Insamling av flyktiga ämnen. (Foto: R. Glinwood, SLU).

De flyktiga ämnena analyserades med hjälp av en gaskromatograf kopplad till en masspektrometer och identifierades genom jämförelse av masspektra med ett kommersiellt masspektrabibliotek (NIST 2008) och autentiska kemiska standarder (Glinwood *et al.* 2011). Flyktiga ämnen uppsamlades under 72 timmar för att erhålla tillräckliga mängder för analys och eftersom sammansättningen av växtflyktiga ämnen har visat sig följa ett dygnsmönster (Loughrin *et al.* 1994).

4.2 Fältförsök

Första fältförsöket såddes den 30 september 2015 på SLU Lövsta fältforskningsstation (Ekhaga), Uppsala. En randomiserad blockdesign användes, med behandlingsrutor (40m²) slumpmässigt placerade i var och en av de sex blocken. Fem olika behandlingar ingick i studien:

- a) 95% höstvet (Stava) blandat med 5% höstråg (Herakles)
- b) 85% höstvet (Stava) blandat med 15% höstråg (Herakles)
- c) 95% höstvet (Stava) blandat med 5% höstråg (Palazza)
- d) 85% höstvet (Stava) blandat med 15% höstråg (Palazza)
- e) 100% höstvet (Stava)

Andra fältförsöket såddes den 10 maj 2018 på SLU Lövsta fältforskningsstation (Säby), Uppsala. Utsädesmängden i renbestånd var ca 350 kärnor/m² för vete och 375 kärnor/m² för råg (för råg endast som underlag för beräkning av utsädesmängd i blandning). För parceller av artblandningarna blandades utsädet av vete och råg före sådd. En randomiserad blockdesign användes, med behandlingsrutor (40m²) slumpmässigt placerade i var och en av de sex blocken. Fyra olika behandlingar ingick i studien:

- a) 100% vårvete (Lennox)
- b) 95% vårvete (Lennox) blandat med 5% vårråg (Petkus)
- c) 85% vårvete (Lennox) blandat med 15% vårråg (Petkus)
- d) 75% vårvete (Lennox) blandat med 25% vårråg (Petkus)

Gångarna mellan parcellerna och de sex blocken var minst 0.5m och frästes för att hållas ogräsfritt. Försöket skördades den 14 augusti och kärnornas kvalitet analyserades (Agrilab, Uppsala).

4.1.1 Utvecklingen av bladluspopulationen

Populationen av naturligt förekommande bladlöss kvantifierades med tidigare fastställda metoder (Ninkovic *et al.* 2003) under växtsäsongen 2016 (1 juli) och en gång per vecka under växtsäsongen 2018 (8 jun till 29 jun).

5. Resultat

5.1. Laboratorieförsök

5.1.1 Identifikation av lämpliga råg-vete kombinationer

Exponering av flyktiga ämnen från råg har inte resulterat i förändringar av bladlus- växtacceptans av exponerade vete plantor jämfört med o-exponerade veteplantor oavsett kombination av inducerande rågsort och mottagande vetesort (Tabell 1), eller andel av inducerande rågplantor (Tabell 2).

Tabell 1. Andelen bladlöss (i procent) som accepterat höstvetepantor som hade blivit exponerade för flyktiga ämnen från höstråg. Kontrollplantorna var inte exponerade av flyktiga ämnen från råg.

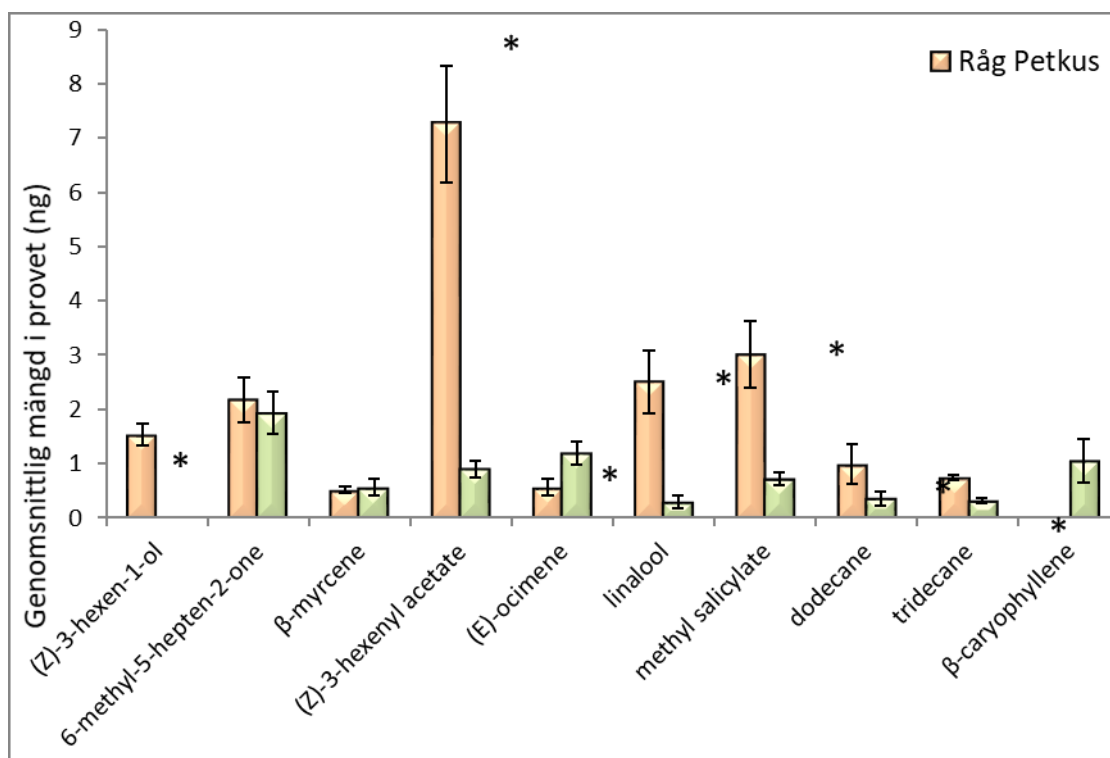
Rågsort	Caspian	Amilo	Brasetto	Caspian	Amilo	Brasetto
Vetesort	Stava	Stava	Stava	SW Magnifik	SW Magnifik	SW Magnifik
0% råg	88	75	84	90	74	69
100% råg	88	73	73	92	71	71

Tabell 2. Andelen bladlöss (i procent) som accepterat höstvetepantor som hade blivit exponerade för flyktiga ämnen från 1, 2 och 5 plantor (5%, 15% och 50%). Kontrollplantorna var inte exponerade av flyktiga ämnen från råg.

Rågsort	Caspian	Caspian
Vetesort	Stava	SW Magnifik
0% råg	93	90
5% råg	90	90
15% råg	88	92
50% råg	89	88

5.1.2 Analys av flyktiga ämnen avgivna av råg och vete

Det finns tydliga kvantitativa och kvalitativa skillnader i produktionen av flyktiga ämnen mellan rågsorten Petkus och vetesorten Lennox (Figur 3).



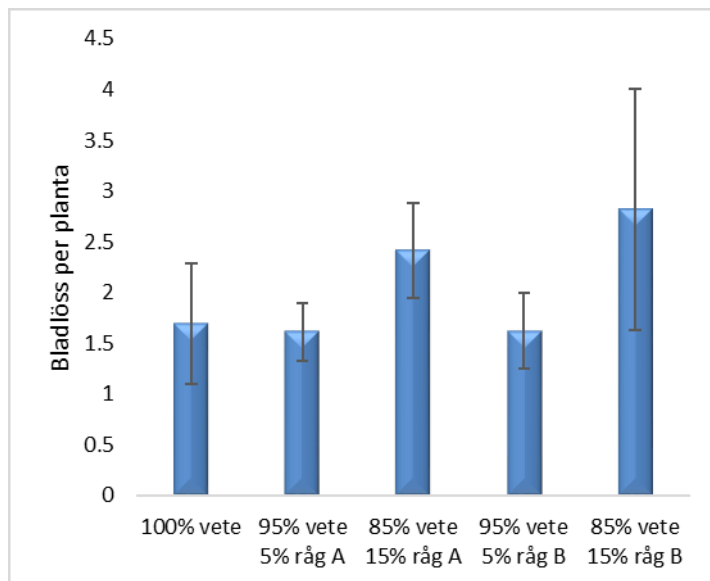
Figur 3. Genomsnittlig mängd av flyktiga ämnen i gasutrymme av råg sorten Petkus (orangea staplar) och vete sorten Lennox (gröna staplar). Signifikanta skillnader indikeras med stjärna och variationsmått är SE.

Råg producerar mer (z)-3-hexen-1-ol och (z)-3-hexenyl acetat, så kallat 'green leaf volatiles'. Råg producerar också mer linalool, en terpenoid, samt högre mängder av methylsalicylat, en känd signalsubstans som kan påverka både insekter och andra växter. Vete producerar en sesquiterpenoid, caryophyllene, vilken saknas hos råg. Resultaten visar att det finns en potentiell möjlighet för både insekter och växter att skilja mellan de olika arterna genom doft.

5.2 Fältförsök

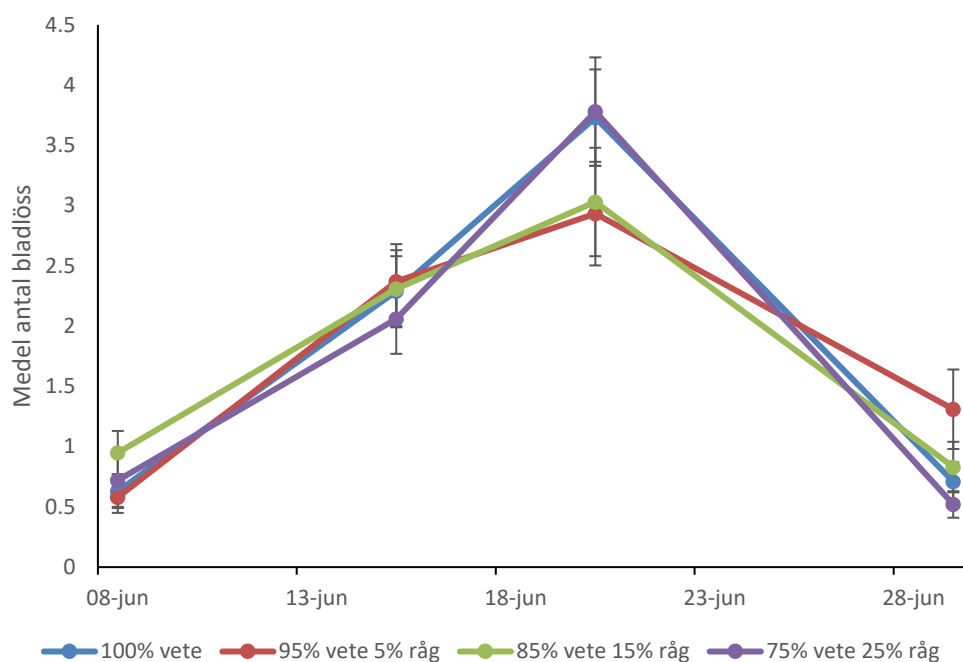
5.2.1 Utveckling av bladluspopulationen

Inga signifikanta skillnader mellan höstvete i renbestånd och höstvete blandad med olika andel höstråg kunde påvisas i fältförsök 2016 (Figur 4).



Figur 4. Medelantal bladlöss per planta i fältförsök 2016 med sortblandningar av höstvete, Stava, och höstråg, Herakles (A) och Palazza (B). Variationsmått är SE.

I andra fältförsöket med vårråg-vårvete blandningar från 2018 hittades inte heller signifikanta skillnader vad gäller antalet bladlöss mellan vete i renbestånd och vete-råg blandningarna (Figur 5). Men det visade sig en tydlig tendens att råg-vete blandningen i vårsådden (fältförsök 2018) resulterade i en reduceringseffekt av bladlusangrepp än höstsådden (fältförsök 2016). Antalet bladlöss vid populationsmaximum i vetefält med 5% och 15% inblandning råg var ca 20% mindre än för vete i renbestånd och vete med 25% inblandning av råg (Figur 6).



Figur 5. Medelantal bladlöss per planta i fältförsök 2018 med sortblandningar av vårvete sort Lennox och vårråg sort Petkus. Variationsmått är SE.

5.2.2 Kärnkvalitet av skörden

En inblandning av råg i vetefält gav ingen negativ effekt på avkastning i fältförsöket 2016. Kärnkvaliteten skiljde heller inte mellan vete i renbestånd och råg-vete blandningar, förutom för stärkelsehalten där skillnaderna var små men signifikanta (Tabell 3).

Tabell 3. Kärnegenskaper av vete-råg blandningar i fältförsök 2016 med höstvete (Stava) och höstråg (A) Herakles (B) Palazza. Signifikanta skillnader mellan behandlingar är indikerad med olika bokstäver efter Tukey's HSD test.

Procent vete/råg (sort)	Vikt g/17m ²	Protein %	Gluten %	Stärkelse %	Rymdvikt g/l	Ergosterol	N [#] %
100/0	567 ^a	12.1 ^a	28.8 ^a	69.7 ^a	793 ^a	12.8 ^a	2.12 ^a
95/5 (A)	541 ^a	12.2 ^a	29.2 ^a	71.0 ^{ab}	804 ^a	12.3 ^a	2.13 ^a
85/15 (A)	544 ^a	12.2 ^a	29.2 ^a	70.4 ^a	797 ^a	12.2 ^a	2.14 ^a
95/5 (B)	518 ^a	12.3 ^a	29.4 ^a	69.6 ^{ac}	789 ^a	12.9 ^a	2.16 ^a
85/15 (B)	517 ^a	12.2 ^a	29.6 ^a	70.1 ^a	790 ^a	12.8 ^a	2.14 ^a

[#]kväve

I fältförsöket i 2018 hittade vi kvantitativa och kvalitativa skillnader mellan vete i renbestånd och råg-vete blandningar (Tabell 4). Med 15% råg i vetefält var avkastningen signifikant mindre än med vete i renbestånd. Även protein-, stärkelse-, och proteinhalten, samt tusenkornvikten förändrades vid en inblandning av råg i vetet (Tabell 4).

Tabell 4. Kärnegenskaper av vete-råg blandningar i fältförsök 2018 med vårvete sort Lennox och vårråg sort Petkus. Signifikanta skillnader mellan behandlingar är indikerad med olika bokstäver efter Tukey's HSD test.

Procent vete/råg	Vikt g/ 17m ²	Protein %	Gluten %	Stärkelse %	Rymdvikt g/l	Ergosterol	N [#] %	TKV ^s 15% vattenhalt
100/0	602 ^a	13.2 ^a	32.3 ^a	69.3 ^a	776 ^a	8.1 ^a	2.31 ^a	40.2 ^a
95/05	582 ^{ab}	13.0 ^{ab}	31.7 ^a	69.5 ^a	775 ^a	8.2 ^a	2.28 ^{ab}	39.6 ^a
85/15	573 ^b	13.0 ^{ab}	32.0 ^a	68.8 ^{ab}	768 ^a	8.5 ^a	2.29 ^{ab}	38.8 ^{bc}
75/25	589 ^{ab}	13.5 ^{ac}	33.1 ^a	68.5 ^b	770 ^a	8.8 ^a	2.37 ^{ac}	38.2 ^{bc}

[#]kväve, ^stusenkorntvikt

6. Diskussion

Vi har inte kunnat påvisa signifikanta effekter av bladlusväxtacceptans för veteplantor som tidigare exponerats med flyktiga ämnen från rågplantor. Även om det finns tydliga kvantitativa och kvalitativa skillnader i produktionen av flyktiga ämnen mellan undersökta råg- och vetesorter måste det inte betyda att det överförs signaler med hjälp av de flyktiga ämnena från råg som veteplantorna kan reagera på. Ändå kunde vi visa en viss tendens till effekt på förekomst av bladlöss i fält, när vårveteplantorna odlades med en inblandning av 5% och 15% råg (dock ej signifikant). Detta kan förklaras med andra mekanismer för växtinteraktioner t.ex. med rotutsöndringar från råg som kan inducerar allelopatisk respons i vete. Detta resultat liknar en studie vi gjorde i fält, där vi odlade korn tillsammans med olika ogräsarter (Dahlin & Ninkovic 2013). Förekomsten av bladlöss minskade då signifikant när korn odlades tillsammans med åkersenap (*Sinapis arvensis*). Studier i laboratoriet visade att bladlössens prestanda minskade på kornplantor som hade rotkontakt med åkersenap medan en exponering med åkersenaps flyktiga ämnen inte hade en effekt på bladlusacceptans av exponerade kornplantor. En mekanism som kunde förklara resultaten av fältförsöket i ogräs-korn systemet, men också i nuvarande studie i råg-vete systemet, är därför kemisk interaktion mellan rötter.

Kvantitativa och kvalitativa skillnader i kärnskörden mellan råg-vete-blandningar och vete odlad i renbestånd har visats i vårsådda grödor, men inte i höstsådda. Antalet bladlöss vid populationsmaximum skiljde också beroende på artblandning i de vårsådda grödorna, men inte i de höstsådda.

Råg är bland de grödor som uttrycker en stark allelopatisk aktivitet. Den allelopatiska potentialen hos råg har använts för att undertrycka ogräs i olika odlingssystem. Våra studier visar att det finns möjlighet att ytterligare utforska den allelopatiska aktiviteten hos råg, dvs att råg kan användas för att öka motståndskraft mot skadegörare i stråsädesodlingar. Denna studie är inte tillräcklig för att dra några slutsatser om underliggande mekanismer, men vi föreslår att framtida studier bör undersöka om kemikalier utsöndrade från rågrötterna som kan påverka grödornas motståndskraft mot skadeinsekter.

Projektet finansierades av SLU Ekoforsk. Tack till personalen på Lövsta fältforskningsstation för utförandet av sådd, gång fräsning och skörd av de två fältförsöken. Många tack till Dimitrije Markovic, Iris Dahlin, James Ajal, H  l  ne Lamaison, Wilma Pettersson, Elin Allstr  m, Ute Fricke, Kees Meesters, and Ludivine Begue f  r bladlusr  kningen i de olika f  ltf  rs  ken.

Barbosa, P., Hines, J., Kaplan, I., Martinson, H., Szezepanec, A. & Szendrei, Z. (2009). Associational resistance and associational susceptibility: having right or wrong neighbors. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40: 1-20.

- Barnes, J.P. & Putnam, A.R. (1983). Rye residues contribute weed suppression in no-tillage cropping systems. *Journal of Chemical Ecology* 9:1045-1057.
- Blomquist, J. (2012). Odlar sortblandningar – hur och varför. Larsson Offsettryck.
- Dahlin, I. & Ninkovic, V. (2013). Aphid performance and population development on their host plants is affected by weed-crop interactions. *Journal of Applied Ecology* 50: 1281-1288.
- Dahlin, I., Rubene, D., Glinwood, R. & Ninkovic, V. (2018). Pest suppression in cultivar mixtures is influenced by neighbor-specific plant-plant communication. *Ecological Applications* 28: 2187-2196.
- De Albuquerque, M., Santos, R., Lima, L., Filho, P., Nogueira, R. *et al.* (2011). Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development* 32: 379-395.
- De Bruin, J.L., Porter, P.M. & Jordan, N.R. (2005). Use of a rye cover crop following corn in rotation with soybean in the upper midwest. *Agronomy Journal* 97:587-598.
- Eckersten, H., Karlson, S. & Torsell, B. (2008). Climate change and agricultural land use in Sweden. *Report Department of Crop Production Ecology 7*, SLU.
- Foster, S.P., Devine, G. & Devonshire, A.L. (2007). Insecticide resistance. In: *Aphids as Crop Pests* (H.F. Van Emden, R. Harrington, eds.), CAB International, London, pp. 261-278.
- Glinwood, R., Ninkovic, V., Ahmed, E. & Pettersson, J. (2004). Barley exposed to aerial allelopathy from thistles (*Cirsium* spp.) becomes less acceptable to aphids. *Ecological Entomology* 29: 188-195.
- Glinwood, R., Ahmed, E., Qvarford, E., Ninkovic, V. & Pettersson, J. (2009). Airborne interactions between undamaged plants of different cultivars affect insect herbivores and natural enemies. *Arthropod-Plant Interactions* 3: 219-224.
- Glinwood, R., Ninkovic, V. & Pettersson, J. (2011). Chemical interaction between undamaged plants – effects on herbivores and natural enemies. *Phytochemistry* 72: 1683-1689.
- Haley, S.D., Peairs, F.B., Walker, C.B., Rudolph, J.B. & Randolph, T.L. (2004). Occurrence of a new Russian wheat aphid biotype in Colorado. *Crop Science Society of America* 44: 1589-1592.

- Hermans, C., Hammond, J.P., White, P.J. & Verbruggen, N. (2006). How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? *Trends in Plant Science* 11: 610-617.
- Jabran, K. (2017). Rye allelopathy for weed control. In: *Manipulation of allelopathic crops for weed control*. SpringerBriefs in Plant Science, Springer, Cham.
- Kellner, M., Kolodinska Brantestam, A., Åhman, I. & Ninkovic, V. (2010). Plant volatile induced aphid resistance in barley cultivars is related to cultivar age. *Theoretical Applied Genetics* 121: 1133-1139.
- Kiær, L.P., Skovgaard, I.M. & Østergård, H. (2012). Effects of inter-varietal diversity, biotic stresses and environmental productivity on grain yield of spring barley variety mixtures. *Euphytica* 185: 123-138.
- Kost, C. & Heil, M. (2006). Herbivore-induced plant volatiles induce an indirect defence in neighbouring plants. *Journal of Ecology* 94: 619-628.
- Loughrin, J.H., Manukian, A., Heath, R., Turlings, T.C.J. & Tumlinson, J.H. (1994). Diurnal cycle of emissions of induced volatile terpenoids by herbivore-injured cotton plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91: 11836-11840.
- Malézieux, E., *et al.* (2009). Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 43-62.
- Ninkovic, V., Olsson, U. & Pettersson, J. (2002). Mixed barley cultivars affects aphid host plant acceptance in field experiments. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 102: 177-182.
- Ninkovic, V. (2003). Volatile communication between barley plants affects biomass allocation. *Journal of Experimental Botany* 54: 1931-1939.
- Ninkovic, V., Ahmed, E., Glinwood, R., & Pettersson, J. (2003). Effects of two types of semiochemical on population development of the bird cherry oat aphid *Rhopalosiphum padi* in a barley crop. *Agriculture and Forest Entomology* 5:27-33.
- Ninkovic, V., Glinwood, R. & Dahlin, I. (2009). Weed-barley interactions affect plant acceptance by aphids in laboratory and field experiments. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 133: 38-45.
- Ninkovic, V. & Åhman, I. (2009). Aphid acceptance of *Hordeum* genotypes is affected by volatile exposure and is correlated with aphid growth. *Euphytica* 169: 177-185.

- Ninkovic, V., Markovic, D. & Dahlin, I. (2016). Decoding neighbor volatiles in preparation for future competition and implications for tritrophic interactions. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 23: 11-17.
- Pettersson, J, Tjallingii, W.F. & Hardie, J. (2007). Host-plant selection and feeding CAB International, Oxfordshire, UK.
- Poorter ,H., Niklas, K.J., Reich, P.B., Oleksyn, J., Poot, P. & Mommer, L. (2011). Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist* 193: 30-50.
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J & Habib, R. (2012). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 32: 273-303.
- Tooker, J.F. & Frank, S.D. (2012). Genotypically diverse cultivar mixtures for insect pest management and increased crop yields. *Journal of Applied Ecology* 49: 974-985.
- Wivstad, M. (2013). Svensk forskningsagenda för ekologiskt lantbruk 2013. *EPOK Centrum för ekologisk produktion och konsumtion, SLU*.